



Utilização de GPR em obras de engenharia, para verificação de espessura de revestimento secundário e integridade da manta de impermeabilização das paredes de um túnel de metrô.

Castro, Georgia - Consultora Geofísica
Okabe, Roberto - Sollum Mapeamentos Ltda
Carvalho, Debora Silveira - Consultora Geofísica

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The present work presents the results of the application of the Geophysicist through method GPR, as Non-destructive Method, in the definition of the thickness and behavior of the secondary covering as well as the integrity of the blanket of waterproofing in covering workmanships of underground tunnels.

Method GPR was applied with the objective of auditorship of the standards established for the waterproofing blanket and of the standards of thickness for the secondary covering.

As Not Destructive Method - MND, the application of the GPR in the frequency of 1,2 GHz got resulted sufficiently satisfactory. The thickness of the secondary covering in diverse preset points of the tunnel was determined. This thickness was determined thanks to one high definition of the electromagnetic signal gotten by the waterproofing blanket, also being able to present characteristics of its integrity.

The application of method GPR was carried through inside of the standards of security of the underground workmanships, with reduced costs and immediate results if compared with the traditional methods of direct inquiry.

Introdução

Uma das grandes preocupações nos projetos de engenharia para impermeabilização de obras subterrâneas, como túneis, é a questão a infiltração da água, originada da percolação vertical meteórica ou lateralmente do lençol freático.

Para o caso específico de infiltrações por águas subterrâneas, até pouco tempo utilizava-se como forma de revestimento das paredes, um concreto projetado diretamente sobre o maciço rochoso, o qual apesar de ter baixa permeabilidade, por si só, não consegue controlar a toda a entrada da água, permitindo infiltrações e umidades gerando gotejamento, dentre outros danos.

Em obras mais recentes estão sendo testados e utilizados novos materiais de revestimento. A aplicação destes se dá primeiramente pela injeção de concreto projetado sobre o maciço rochoso, como em obras mais antigas, denominado, este, de revestimento primário. Entretanto, em seguida aplica-se um composto impermeável constituído por uma membrana de pvc e uma manta de bidin em cima do concreto projetado e por último o concreto moldado, chamado de revestimento secundário.

Em meio este cenário, os métodos geofísicos, de características não invasivas e baixos custos de operação, vêm mostrando bons resultados e sendo amplamente utilizados em estudos geoambientais, de geotécnica e engenharia, para mapeamento de estruturas enterradas em subsuperfície (tubulações, caixas, etc), como também para caracterização de estruturas diversas como as de revestimentos, pisos, proporcionando a identificação de rupturas e irregularidades normalmente ocorrentes. Uma vez que as especificações construtivas deste tipo de obras são rigorosamente controladas.

Estudo recentes mostram bons resultados do método GPR na identificação da manta de impermeabilização e a espessura do concreto secundário, com margens de erro bastante aceitáveis (Zeng & McMechan, 1997; Grandjean et al, 2000). Estudos em laboratório, objetivando testes com diferentes materiais também oferecem resultados satisfatórios.

Dentro deste contexto, o presente trabalho apresenta os resultados da aplicação da Geofísica, utilizando o GPR como Método não destrutivo (MND), para a definição da espessura e comportamento do revestimento secundário bem como a integridade da manta de impermeabilização em obras de revestimento de túneis subterrâneos. Verificando assim, a eficácia de tais materiais e o grau de detalhamento e resolução do método geofísico.

A aplicação do método GPR, neste trabalho, teve também, como objetivo verificar e assim auditar os padrões estabelecidos para a manta de impermeabilização e para os padrões de espessura do revestimento secundário.

Tal metodologia foi realizada dentro dos padrões de segurança das obras subterrâneas, com custos reduzidos e resultados imediatos se comparado aos tradicionais métodos de investigação direta.

Método

O método eletromagnético - GPR (georadar ou *ground penetrating radar*) utilizado neste projeto, emprega ondas de rádio em frequências elevadas (10 a 2500 MHz) para localizar estruturas, feições geológicas ou objetos enterrados pelo homem em sub-superfície (Annan, 1992; Annan, 2002; Daniels, 1996).

Neste método as ondas eletromagnéticas são rapidamente radiadas para o solo através de uma antena transmissora (Figura 1). Mudanças nas propriedades elétricas do meio fazem com que partes do sinal sejam refletidos para a superfície e partes sejam transmitidos. Este sinal refletido é então captado, registrado e armazenado em uma unidade de controle, permitindo a geração de uma imagem de alta resolução da sub-superfície. A resposta do GPR em cada ponto do terreno amostrado é representada por um traço. Os traços refletem a resposta da propagação da onda eletromagnética no subsolo. Quanto maior a amplitude do sinal registrado, maior será o contraste elétrico entre os meios investigados (Figura 2).

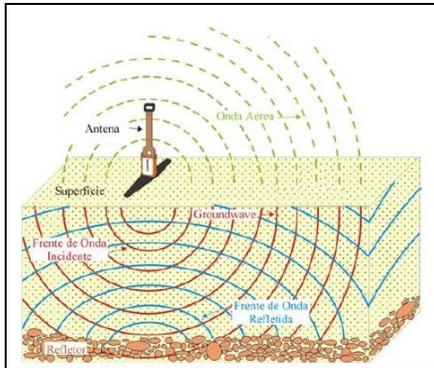


Figura 1 – O método Eletromagnético (Adaptado de Borges, 2002).

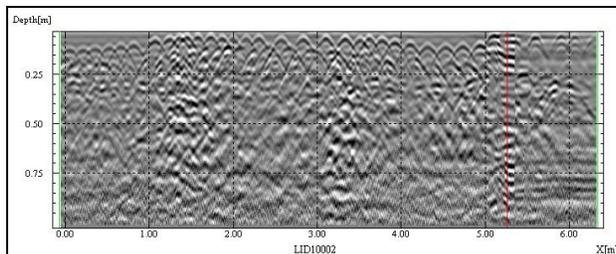


Figura 2 – Radargrama - Caracterização do revestimento do túnel.

O processamento dos dados de GPR se deu através das seguintes etapas descritas a seguir: inicialmente os dados de campo de GPR foram filtrados (*dewow*), eliminando-se os ruídos eletrônicos e estáticos inerentes ao sistema.

O processamento dos dados envolveu: determinação da chegada da primeira onda (ajuste do tempo zero); aplicação de ganhos (linear, exponencial e decaimento

de energia); filtragens 1D (*bandpass butterworth* e *bandpass frequency*) e 2D (remoção do background); conversão da escala de tempo para profundidade; georeferenciamento e interpolação dos perfis, elaboração de cubos tridimensionais e *depth slices* (cortes em profundidade).

Para conversão dos perfis em profundidade foi realizado um ajuste hiperbólico de alguns pontos difratores encontrados na área investigada.

O modelo de equipamento GPR utilizado no levantamento de dados deste estudo foi o o RIS (Figura 3) constituído por antena monostática de 1200 MHz, a qual apresenta maior resolução superficial do sinal, proporcionando maior nível de detalhamento dos materiais superficiais. A aquisição dos dados foi realizada com amostragem a cada 2,5 cm e a cartografia da área estudada integrada à aquisição dos dados, através do software específico do equipamento, em ambiente AutoCAD – *Automatic Computer Aided Design*. O resultado do mapeamento foi integrado à cartografia em 2D.



Figura 3 – Foto do equipamento GPR com antena de 1200 Mhz.

As aplicações do GPR para o mapeamento de estruturas geológicas, arqueológicas, de tubulações, tanques e estruturas enterradas, já estão consagradas.

Porém, com a criação de novas tecnologias, novas antenas estão sendo testadas para a caracterização de estruturas em profundidades bastante rasas (até 0,50 m). Neste contexto, sua aplicação está voltada principalmente para a inspeção de estruturas e patologias do concreto. As frequências destas novas antenas variam entre 1,20 GHz a 2,00 GHz. A escolha da antena e assim de sua frequência, fica condicionada aos objetivos quanto a resolução e profundidade.

De modo que, quanto mais alta a frequência da antena, maior a resolução do sinal, menor a profundidade investigada e mais compacta a antena. Isto viabiliza a aplicação em END (ensaios não destrutivos), com antenas de dimensões pequenas, que geram resultados de alta resolução alta, em profundidades rasas.

Resultados

Aquisição de dados

A aquisição dos dados foi realizada em duas paredes do Túnel em estudo (Figura 4).



Figura 4 – Foto ilustrativa dos locais dos levantamentos GPR realizados.

Resultados Geofísicos

Os resultados obtidos neste trabalho foram analisados de forma a obtenção da caracterização do material de revestimento do túnel estudado, com detalhamento do comportamento da manta de impermeabilização e das espessuras do revestimento secundário, para então, fornecimento de recomendações de investigação complementar frente aos resultados.

A obtenção de um padrão representativo do local foi da em função dos valores totais medidos e das variações das características físicas de cada material. Os valores representativos da área foram então obtidos através do processamento e correlação com os dados diretos de campo.

As faixas de valores físicos podem variar de acordo com as propriedades de cada material e representar mais de um tipo.

A utilização de cores no processamento de dados e posterior apresentação é um artifício gráfico com o objetivo de destacar faixas de valores específicos caracterizados no processamento. Assim, a escala de cor independe dos valores medidos, sendo apenas um critério visual para destacar as anomalias identificadas.

A velocidade média de propagação da onda eletromagnética adotada foi de 0,06 m/ns, definida a partir de critérios correlacionados ao material ocorrente na área. Permitindo assim, investigar profundidades de até a 0,7 metros, com uma janela temporal de 30 ns.

De modo geral os dados obtidos na área mostraram padrão regular de amplitude do sinal eletromagnético, sendo identificados refletores pontuais, zonas de variação de amplitude do sinal eletromagnético, refletores linearizados, dentre outras feições as quais podem ser relacionadas e associadas a diferentes tipos de estruturas presentes em subsuperfície em subsolo.

A partir dos dados brutos, observados durante a aquisição em campo, foram identificadas apenas feições pontuais de grande escala, uma vez que neste momento o sinal observado é mais fraco e não sofre nenhum ajuste matemático. Após realizados os tratamentos matemáticos, em laboratório, os dados processados apresentaram melhor detalhamento destes pontos e por sua vez maiores informações, as quais ressaltaram feições de maior escala, verificadas nos dados brutos e evidenciaram, feições de menor escala, como interferências, tubos, caixas, pequenos tanques, estruturas de edificações e fissuras nos revestimentos. Estas diferentes interferências mapeadas foram identificadas e diferenciadas nos radargramas a partir dos diversos tipos de sinais tais como atenuações, hipérbolas, camadas, entre outros, de acordo com as características físicas específicas de cada estrutura.

Quanto os refletores horizontalizados, característicos dos materiais de revestimento pode-se observar contrastes marcantes entre os horizontes ocorrentes, detalhando os de forma clara os diferentes tipos de revestimento, bem como suas variações e linearidades (Figura 5).

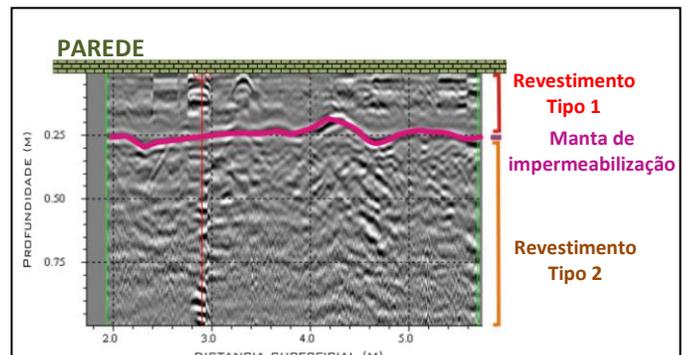


Figura 5 – Radargrama - Caracterização de camadas de revestimento da parede do túnel.

Além do detalhamento das profundidades e espessuras das camadas de revestimento e impermeabilização das paredes, pode-se verificar a continuidade destes materiais, sendo observadas quebras e rompimentos da mata de impermeabilização, fornecendo assim informações valiosas para os procedimentos de manutenção e reparação das obras em questão (Figura 6 e 7).

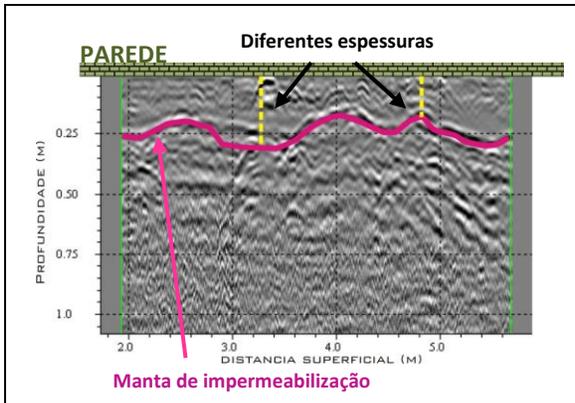


Figura 6 – Radargrama - Caracterização das diferentes espessuras das camadas de revestimento da parede do túnel.

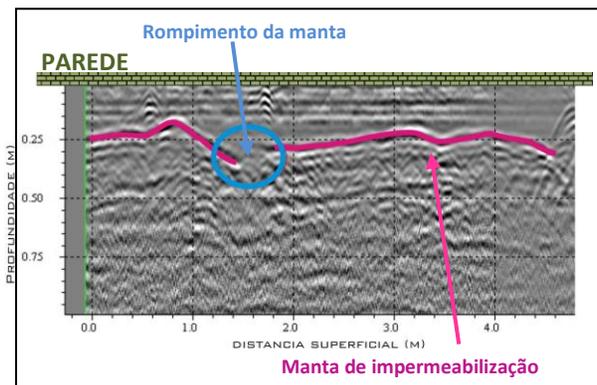


Figura 7 – Radargrama - Caracterização de rompimento na manta de revestimento da parede do túnel.

Apesar do sinal eletromagnético obtido no levantamento apresentar ótima resolução proporcionando detalhamento das diferentes estruturas presentes, houveram trechos onde se observou a presença da malha de ferragem, o que prejudicou em alguns pontos a visualização da manta (Figura 8).

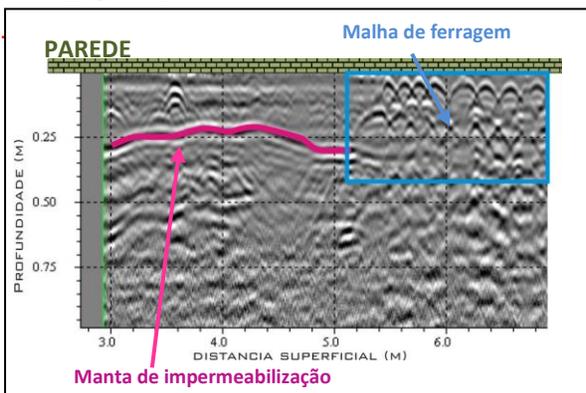


Figura 8 – Radargrama - Caracterização do sinal eletromagnético frente a presença de malha de ferragem associada ao revestimento da parede do túnel.

O refletor horizontalizado caracterizado pela interface geotécnica apresenta pequenas oscilações quanto suas profundidades e pontos localizados de irregularidades quanto seu lineamento. De acordo com as sessões de GPR e padrões de engenharia, tais variações quanto as espessuras do revestimento secundário, enquadram-se dentro de desvios de erro aceitáveis, de acordo com a técnica de revestimento utilizada.

Conclusões

Os resultados, obtidos mostram que a metodologia geofísica utilizada no trabalho possibilitou caracterizar de forma clara as camadas de revestimento de concreto e manta de impermeabilização presentes nas paredes túnel. Tendo assim que:

- A antena de GPR utilizada de 1200MHz apresentou boa definição para detalhamento das estruturas.
- Podemos concluir que o levantamento utilizando o método GPR, conseguiu definir com boa precisão a localização da manta de impermeabilização que separa os dois revestimentos, definindo a espessura do revestimento secundário.
- Foram verificados pontos onde se observou o rompimento ou ausência pontual da continuidade da manta de impermeabilização do revestimento.
- Foram verificados trechos onde se observou a presença da malha de ferragem, o que prejudicou em alguns pontos a visualização da manta.

Frente aos resultados obtidos, pode-se concluir que a metodologia geofísica de GPR utilizada para caracterização de camadas de revestimento mostra-se muito eficaz, proporcionando detalhamento com grande resolução em pequenas espessuras. Gerando assim, novas ferramentas tecnológicas de alta precisão para obras de engenharia.

Referências Bibliográficas

ANNAN, A.P., 1992. Ground penetration radar workshop notes. Sensors & Software, Inc., Internal Report, 130 p.

ANNAN, A.P. 2002. GPR – History, Trends, and Future Developments. *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, 3 (4): 253 – 270.

BORGES, W.R. 2002. Investigações geofísicas na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e eleorresistividade. Dissertação de Mestrado (Departamento de Geofísica), IAG/USP, 150 p.

DANIELS, J. J., 1996. *Surface Penetrating Radar*, The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 300p.

GRANDJEAN, G.; GOURRY, J.C. & BITRI, A. 2000. Evaluation of GPR techniques for civil-engineering

applications: study on a test site. *Journal of Applied Geophysics*, 45: 141 – 156

ZENG, X. & McMECHAN, G.A. GPR characterization of buried tanks and pipes. *Geophysics*, 62(3): 797 – 806.